

单斜地层定向钻孔主孔结构优化设计及应用

——以顾北煤矿南一采区为例

周涛¹, 许光泉¹, 孙绍波¹, 何玉鹏¹, 窦春远², 魏建², 许童², 蔡有京²

¹安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南

²淮河能源集团顾北煤矿, 安徽 淮南

收稿日期: 2021年11月27日; 录用日期: 2021年12月30日; 发布日期: 2022年1月10日

摘要

研究应用地面多分支近水平定向钻探技术, 为区域超前治理奥灰水害和大规模高效注浆改造奥灰顶部含水层提供关键技术及必要条件。本文针对顾北南一采区实际的地质条件, 结合地面定向水平孔煤层底板超前注浆所使用的钻探技术方案进行分析和总结。提出了一种在单斜地层条件下的定向钻孔主孔结构, 希望此研究可以为地面区域探查治理在进行水害防治时提供有益参考。

关键词

定向钻孔, 钻孔结构设计, 造斜点, 单斜地层

Optimization Design and Application of Main Hole Structure of Directional Drilling in Monoclinic Stratum

—Taking Nanyi Mining Area of Gubei Coal Mine as an Example

Tao Zhou¹, Guangquan Xu¹, Shaobo Sun¹, Yupeng He¹, Chunyuan Dou², Jian Wei², Tong Xu², Youjing Cai²

¹School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui

²Gubei Coal Mine of Huaihe Energy Group, Huainan Anhui

Received: Nov. 27th, 2021; accepted: Dec. 30th, 2021; published: Jan. 10th, 2022

Abstract

The research and application of surface multi-branch near horizontal directional drilling tech-

文章引用: 周涛, 许光泉, 孙绍波, 何玉鹏, 窦春远, 魏建, 许童, 蔡有京. 单斜地层定向钻孔主孔结构优化设计及应用[J]. 矿山工程, 2022, 10(1): 21-27. DOI: 10.12677/me.2022.101003

nology provide key technologies and necessary conditions for regional advanced treatment of Ordovician limestone water disaster and large-scale high-efficiency grouting transformation of Ordovician limestone top aquifer. Based on the actual geological conditions of Gubeinan mining area, this paper analyzes and summarizes the drilling technology used in the advanced grouting of coal seam floor with directional horizontal holes on the ground. The main hole structure of directional drilling under the condition of monoclinic stratum is proposed. It is hoped that this study can provide the useful reference for the exploration and treatment of ground areas in the prevention and control of water disasters.

Keywords

Directional Drilling, Drilling Structure Design, Oblique Point, Monoclinic Stratum

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

地面多分支近水平定向钻进技术是利用特殊的井底动力工具和随钻测量技术,钻成井斜大于 86° 并保持该角度沿目标层的定向钻井技术[1] [2] [3]。一般先在地面施工垂直井,然后造斜进入奥灰含水层一定深度变成近水平井,利用水平钻孔可分支持特点,钻孔轨迹可设计“羽、带”状,灵活地对煤层底板和奥灰含水层异常区进行多方位控制和充分揭露,目的主要为:① 探查溶蚀溶洞、断层等异常含水层;② 实施区域注浆治理以消除奥灰水患[4] [5] [6]。

目前国内针对地面区域治理所设计的地面定向钻孔结构多为三开结构,而根据不同的地质条件,为了达到预期的工程效果,需要考虑诸多因素。故为了有效地开展接下来的治理工作,需要根据不同的地质条件分析出最佳的主孔设计方案,选取合适的造斜点位置[7] [8] [9]。

本文着重对淮南顾北煤矿南一采区进行分析,通过对南一采区的地层产状、松散层、基岩与目标层关系的研究,设计出在单斜地层下的露头区主孔最佳造斜点位置,以及钻孔的整体结构布置。

2. 工程概况

2.1. 地质概况

地层:顾北煤矿南一采区钻孔揭露地层自上而下依次为新生界(第四系、第三系)松散层、二叠系煤系、石炭系(上统)和奥陶系海相地层。新生界松散层由粘土、砂质粘土和砂层组成,厚度 $425.0\sim 468.6$ m。二叠系地层下石盒子组和山西组含主要稳定可采煤层3层。

石炭系(上统)与下伏奥陶系呈平行不整合接触,主要由灰岩、页岩、砂岩和薄煤层组成,其中太原组浅海相薄层灰岩13层,厚 $51.6\sim 75.7$ 米,上距1煤层平均距离约 19.1 m。

1煤层顶、底板:1煤层顶板主要由泥岩和粉细砂岩组成,直接顶为泥岩,厚约 $0\sim 4.0$ m,平均厚度为 1.8 m,采区中部局部缺失,由老顶直接覆盖;老顶为粉细砂岩,厚约 $1.2\sim 18.4$ m,平均厚度为 7 m,局部相变为中粗砂岩;直接底为砂质泥岩,厚约 $0.2\sim 11.5$ m,平均厚度为 2.6 m,局部缺失,偶夹炭质泥岩;老底为粉细砂岩,厚约 $1.5\sim 13.4$ m,平均厚度为 7.5 m。

构造:采区地层总体走向近南北,倾向东,倾角较缓,一般 $4^\circ\sim 14^\circ$,平均 7° 。采区中北部构造较简单,南侧受F109断层影响,小型褶曲及次生断层发育,煤层产状变化较大,将对采掘工程造成较大影响。

2.2. 钻进层位

选取合理的目的层是该技术的关键环节，目的层需遵循以下 7 个原则：

- 1) 突水系数：突水系数要求是确保矿井安全开采的必要条件，是地面区域治理目的层位选择的决定性因素。
- 2) 导水构造：区域治理目的层位要尽量避免接露岩溶陷落柱，并预留一定的安全隔水间距。
- 3) 地层可注性：地层具有较好的可注性，有益于浆液扩散在目的层形成相对完整、隔水的“阻水塞”。
- 4) 水力联系：与井巷系统和奥灰之间的水力联系不可太密切，防止浆液大量扩散至奥灰或井巷系统，造成浪费，并影响治理效果。
- 5) 灰岩厚度：地层厚度适中，满足注浆上下扩散距离及地面定向水平井钻进的技术要求。
- 6) 水动力条件：一般选择弱富水性灰岩地层作为目的层位，其水动力条件差，静水条件下注浆充填效果较好。
- 7) 灰岩间距：区域治理达到改造灰岩含水层、加固顶、底板隔水层的效果，形成具有较好隔水性能的全新隔水。

井田内 1 煤层底板距石炭系太原组第一层灰岩平均 18.32 m，第一水平(-648 m)灰岩水头压力达 6.7 MPa，超过 1 煤层底板岩层允许承受的最大水压值，所以，太原组灰岩是 1 煤层底板直接充水含水层，尤其是煤层与灰岩对口的断层带，往往是 1 煤层底板突水的直接通道，发生断层带突水的可能性大为增加。

区域资料表明，底部奥灰水可因断层、陷落柱等构造直接与太灰含水组发生水力联系，即 1 煤层不但面临底板太原组灰岩水的威胁，而且面临奥灰水的威胁。因此，要实现区内 1 煤层的安全开采，需对底板灰岩含水层进行探查与防治。结合南一 1 煤采区采掘实际情况，本次区域探查、治理工程，近水平分支钻孔注浆治理目的层选择在太原组 9 灰层位。

2.3. 技术难点

在淮南地区我们常选择在基岩面 20 米以下进行造斜，但是由于南一采区是一种单斜地层，导致露头区松散层较厚，基岩层厚度特薄，按照常规钻孔结构无法满足施工水垂比要求，根据现有的技术无法完成钻进。其主要技术难点主要有：

- 1) 大曲率井段施工工艺。受施工场地条件影响，区域治理工程定向井全角曲率偏大，施工难度大，钻井周期长。
- 2) 套管层位选择。钻孔立孔段套管下入层位及深度选择，一般应考虑侧钻造斜位置及岩层稳定性，一旦选择不合理，常造成塌孔事故，给施工带来困难。
- 3) 单斜地层产状对钻进方式影响较大。
- 4) 松散层，基岩与目标层位置的相互关系导致主孔施工时需要根据不同位置设计不同的主孔形态。
- 5) 工作面的位置需要在钻进过程中控制住钻探精度，确保各分支水平孔实钻跟层率均不小于 80%，避免影响井下生产。

考虑到靶前位移与目的层的选择，我们需要改变常规造斜点的位置，所以在这里提出一种针对单斜地层的主孔结构，即在一开松散层进行造斜的三开钻孔结构，从而达到工程目的，满足生产需要。

3. 主孔技术研究

3.1. 孔口布置原则

钻孔孔口位置的选择至关重要，决定了钻孔施工的难易程度与能否有效完成钻探任务。孔口位置的

选择,应从以下方面进行考虑:① 工程目标范围以及构造发育的优势方位;② 孔口至目标区距离一般大于 300 m;③ 孔口位置应与巷道停头位置保持一定安全距离,防止高压注浆期间巷道停头与终孔位置距离过近,造成巷道跑浆情况,一般安全距离确定为 80 m;④ 地面建筑物与地形情况,选择较为空旷,便于施工区段[10][11][12][13]。

3.2. 造斜点选择

通常来说针对于常规地层定向造斜要在穿层段内完成,为了提高定向钻进效率及钻孔轨迹光滑度,达到降低钻孔摩阻的目的,造斜点要选择在该稳定的岩层,并以尽量减少造斜点为钻孔轨迹设计原则,钻进过程中需要控制好造斜钻进曲率[8][9]。造斜点的选择是本着由上而下的原则进行,并选择在岩性稳定的层段,同时还要考虑造斜点应避开复杂地层。随钻测斜仪器精度、仪器与钻头间距离。一般情况下造斜点在一开井段下 15 至 20 m 的坚硬地层内,并留足空间为二开着陆。

造斜点的位置因目标层位的不同在选择上往往也会产生了不同的情况。本项目优化设计将主孔造斜点选择在一开中含下段的砂岩隔水层,此位置井深较深,岩层稳定性较好,能够满足工程施工的要求[13][14][15][16]。

3.3. 钻孔结构设计

顾北南一采区若按照常规的三开结构设计应如图 1 所示。如果采用这种设计方案,为了达到造斜条件,则一开无法下到基岩面以下,此时的造斜点极不稳定,不符合实际施工要求。

考虑到南一采区地层的特殊性,此处进行优化设计,一开采用 $\Phi 311.1$ mm 钻头在井深 340 m 处进行造斜,直至进入基岩以下 20 m,下入 $\Phi 244.5$ mm 表层套管;二开采用 $\Phi 215.9$ mm 钻头,下入 $\Phi 177.8 \times 8.05$ mm 技术套管,至井深 647.8 m 着陆点;三开采用 $\Phi 152.4$ mm 钻头 + $\Phi 120$ mm 螺杆 + $\Phi 89$ mm 无磁钻杆 + $\Phi 89$ mm 加重钻杆 $\Phi 120$ mm 钻铤钻进水平段,裸眼完钻。新型钻孔设计如图 2 所示。

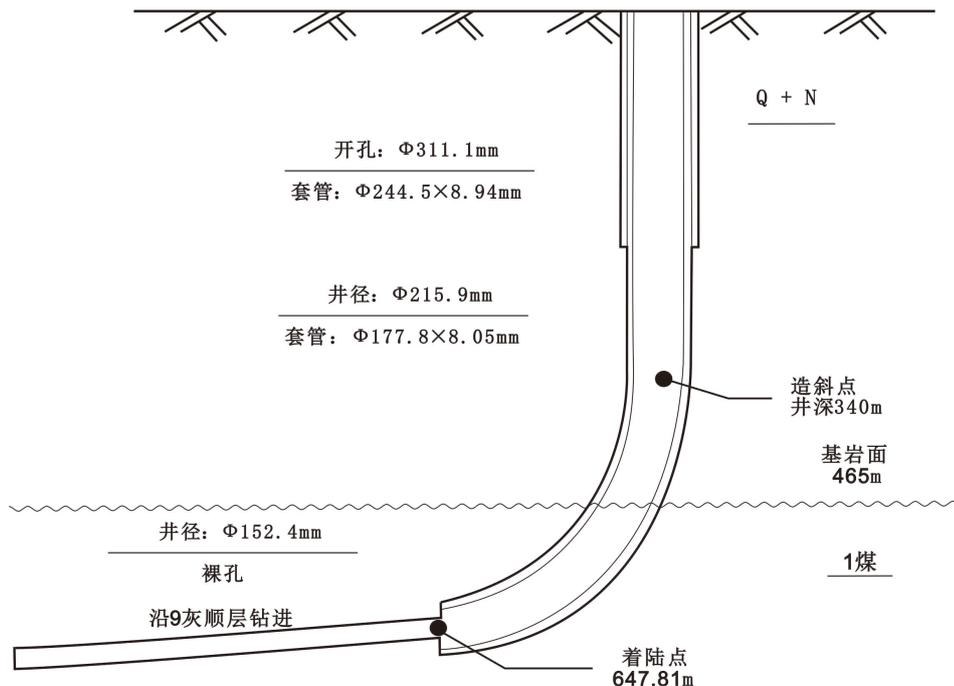


Figure 1. Conventional design
图 1. 常规设计

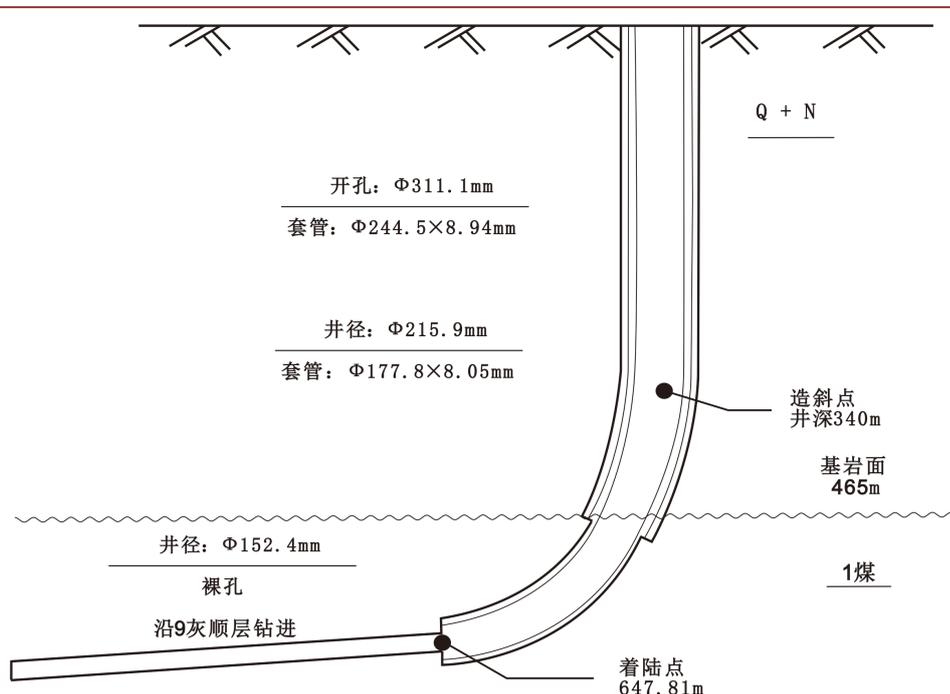


Figure 2. Optimized design
图 2. 优化设计

4. 施工情况

4.1. 钻探效果

为保证钻孔沿目的层钻进，造斜孔段和水平段采用岩屑录井和钻时录井联合判层，采用无线随钻测量系统监测钻孔轨迹。该钻孔一直向下倾斜钻进，终孔垂深 645.15 m，闭合距 667.84 m，水垂比 1.02，闭合方位 167°。水平段最大井斜 91.87°，最小井斜 84.52°，最大孔眼曲率最大 9.78°/30 m。钻孔水平段与设计轨迹水平偏移最大 1.07 m，符合设计要求。实钻轨迹三维立体图如图 3 所示。

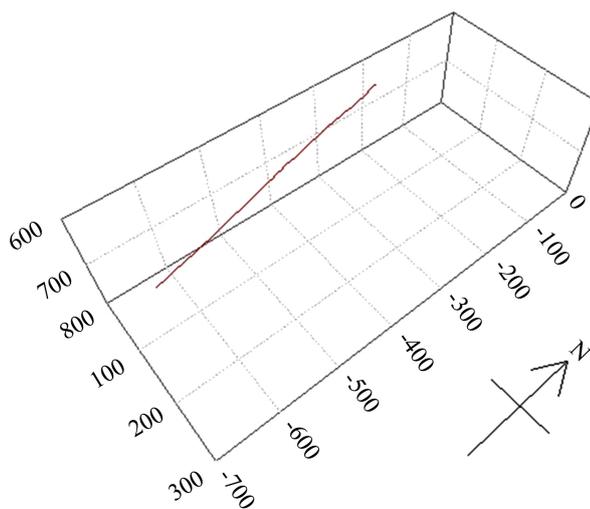


Figure 3. Three-dimensional view of actual drilling trajectory
图 3. 实钻轨迹三维立体图

4.2. 工程完成情况

南一采区在采区了新型的钻孔结构后各项工作顺利完成, 目前南一采区地面区域探查治理项目已经完成, 各主孔按照设计要求成功地承担了后期的注浆任务, 未出现垮孔等现象。主孔设计过程中一开、二开与基岩面和造斜点的空间关系如图 4 所示。

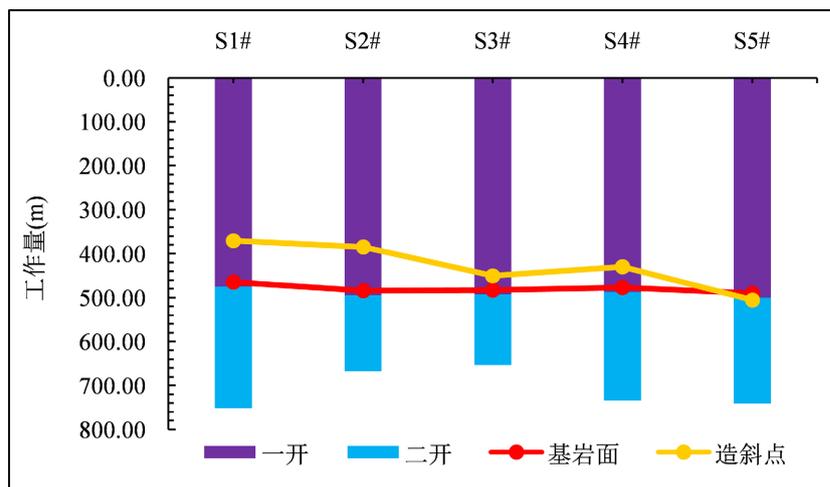


Figure 4. The spatial arrangement of boreholes

图 4. 钻孔空间布置关系

5. 结论

1) 定向井的造斜点选取与轨迹优化, 不仅考虑钻机和顶驱设备的能力, 设计轨道的摩阻扭矩大小和现场施工的难易程度, 同时还要考虑钻柱的强度优化设计及套管磨损等因素。最重要的因素是需要考虑造斜区域的地层稳定性。

2) 通过参考临近区域钻孔施工资料, 对定向钻孔不同孔段施工工艺进行研究, 总结出适用于该矿区的定向钻孔施工工艺, 可指导优化定向钻进参数, 提高钻孔施工效率。

参考文献

- [1] 赵庆彪, 赵兵文, 付永刚, 南生辉, 赵章. 大采深矿井地面区域治理奥灰水害关键技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(8): 14-20.
- [2] 陈沁东, 赵建国, 杨冬冬. 大直径定向钻孔高效成孔钻进技术应用[J]. 煤炭工程, 2021, 53(4): 49-55.
- [3] 袁子航, 叶根飞, 赵永哲, 孙阳. 定向钻进技术在底板水害超前探查中的应用[J]. 煤炭工程, 2021, 53(4): 45-48.
- [4] 刘再斌. 基于孔型组合的煤矿水害区域治理模式研究[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(7): 184-189.
- [5] 胡焮彭. 煤层底板注浆加固多分支水平井钻井工艺技术研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 煤炭科学研究总院, 2020.
- [6] 张迎接, 赵永哲, 杨忠, 莫海涛. 煤矿井下倾斜地层近水平定向钻孔造斜段轨迹设计[J]. 煤田地质与勘探, 2019, 47(2): 27-30.
- [7] 张党育. 深部开采矿井水害区域治理关键技术研究及发展[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(8): 8-12.
- [8] 许超. 新集二矿 1 号煤层 220106 工作面底板灰岩地面超前区域探查治理及效果评价[J]. 中国矿业, 2021, 30(4): 120-127+133.
- [9] 李泉新, 石智军, 史海岐. 煤矿井下定向钻进工艺技术的应[J]. 煤田地质与勘探, 2014, 42(2): 85-88.
- [10] 孙阳, 赵永哲, 朱昌淮, 等. 定向钻进工艺技术在探查疏放灰岩水中的应[J]. 煤田地质与勘探, 2019, 47(S1):

117-121.

- [11] 黄寒静, 魏宏超. 煤矿井下定向钻进螺杆钻具力学分析[J]. 煤炭工程, 2014, 46(5): 104-106.
- [12] 刘建林, 李泉新. 基于轨迹控制的煤矿井下复合定向钻进[J]. 煤矿安全, 2017, 48(7): 78-81.
- [13] 许超. 煤矿井下复合定向钻进技术优势探讨[J]. 金属矿山, 2014(2): 112-116.
- [14] 彭旭, 杨忠, 刘卫卫. 混合高效钻进技术在近水平长钻孔中的应用[J]. 煤矿安全, 2017, 48(3): 67-70+75.
- [15] 孔伟. 定向长钻孔在小沟煤矿探放水中的应用[J]. 煤矿机械, 2018, 39(8): 137-139.
- [16] 石浩. 精准定向钻进技术在煤矿水害治理应用[J]. 煤炭工程, 2018, 50(3): 75-78.